

**С.И. БУХКАЛО**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**А.С. КОСМАЧЕВ**, ст. викл., НТУ «ХПИ»,  
**О.И. ОЛЬХОВСКАЯ**, асс., НТУ «ХПИ»,  
**И. ЩЕРБИНА, А. ПЕРЕПЕЛИЦА, И. ДУДА, К. ОСТРОВЕРХ, А. БОРХОВИЧ**, студенты, НТУ «ХПИ»,  
**Д.И. ШУЛЬГА**, студент, ХАИ

## **ОЦЕНКА НАПРАВЛЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

У роботі запропоновано використання методів математичного моделювання модифікації властивостей полімерних відходів з метою вивчення можливих механізмів процесу модифікації перекисом дикумила вторинного поліетилену

В работе предложено использование методов математического моделирования для модификации свойств полимерных отходов с целью изучения возможных механизмов процесса модификации перекисью дикумила вторичного полиэтилена

The use of simulation process for polymer wastes properties investigation to study possible performance of modification with dicumyl peroxide is proposed

При постановке задачи в общем виде и оценке ее связи с научно-практическими заданиями учитывалось то, что производство полимерных материалов ежегодно увеличивается, в основном, за счет расширения областей их применения. Это, прежде всего, упаковка, которая имеет достаточно высокие механические и эксплуатационные свойства [1, 3].

Сбор и утилизация бытовых отходов с целью ресурсо- и энергосбережения, в том числе и упаковки, за рубежом осуществляется двумя способами. Один из них – утилизация упаковочных материалов оплачивается из средств производителей товаров, использующих эту упаковку. Это одна из первых систем по сбору упаковки в мире и очень дорогая. Второй способ – утилизация, также субсидируется производителями товаров, но эти средства перечисляют по прямым соглашениям в городской бюджет. Эта модель успешно внедрена в ряде стран Восточной Европы.

Для Украины второй способ наиболее приемлемый, так как фактически в каждом городе есть предприятия, выпускающие и использующие полимерную упаковку, и необходимо только применить имеющиеся научные разработки, а

оборудование для повторной переработки упаковки разработано и выпускается.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Следует отметить, что видовая структура потребления полиэтилена низкой плотности мало изменяется для развитых стран мира в последние годы, а полиолефины с точки зрения потребления были и остаются полимерными материалами номер один [2, 3].

Перспективы роста производства полиэтилена на постсоветском пространстве в ближайшем будущем есть и немалые как показывает динамика развития рынка его потребления в развитых странах (рис. 1).

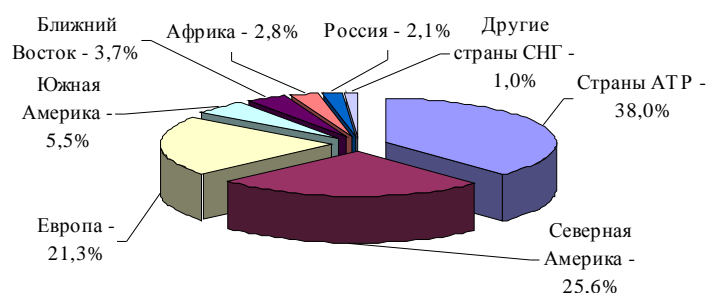


Рис. 1. Структура мирового потребления полиэтилена в 2007 г.

Зарубежная практика показывает, что фирмы, которые занимаются рециклингом полимерной упаковки, весьма успешны и их вклад в охрану окружающей среды несомненен, а также они повышают занятость населения.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья.** Уровень использования отходов на постсоветском пространстве уже длительное время остается в среднем не выше одной трети, а уровень повторной переработки полимерных материалов составляет не более 6 – 8 %.

Таблица 1

Потребление энергии (кВтч/т) для производства пластмасс

Пластмассы	Общая энергия		Энергия для полимеризации	Энергетический эквивалент	Энтальпия горения
Полиэтилен высокой плотности	13,670	8,840	10,110	20,850	12,010
Полиэтилен низкой плотности	8,187	6,830	4,600	18,900	12,070
Полипропилен	8,240	8,070	4,700	20,020	11,950

Следует отметить, что большинство участников процессов переработки полимерного сырья в изделия не учитывает затраты энергии на производство пластмасс (табл. 1) и другие несомненно важные аспекты этой проблемы.

С учетом материальных и энергетических ценностей, заключенных в использованной упаковке, относительно небольшие затраты на ее переработку, определяют существенную экономию средств.

**Формулировка целей статьи.** В настоящее время из известных методов использования полимерных отходов, наиболее перспективными с точки зрения ресурсо- и энергосбережения является направление получения доброкачественных изделий из вторичных полимеров, в частности из изношенной полиэтиленовой пленки. Это позволит расширить сырьевую базу для производства изделий и повысить эффективность использования сырья с учетом свойств отходов различного происхождения, их состава и возможности организованного сбора, что и является целью проводимых исследований.

**Изложение основного материала исследований.** Исследования качественного и количественного состава кислородсодержащих и ненасыщенных групп, а также молекулярной подвижности вторичного полиэтилена, полученного из пленки различной продолжительности эксплуатации, показывают, что основными направлениями модификации в целях повышения технологических и прочностных свойств этого материала должны быть методы, учитывающие степень его окисления.

После четырех месяцев эксплуатации начинается разрушение материала, которое сопровождается резким падением прочности, уменьшением молекулярной массы и разрушением некоторой части гелефракции за счет более глубоких процессов окисления [2]. Следовательно, полимерные изделия, эксплуатировавшиеся в жестких условиях, например, пленка сельскохозяйственного назначения, требуют введения модифицирующих добавок в процессе повторной переработки. Модификацию изношенных полимеров возможно осуществлять в процессе их переработки сухим смешением компонентов с последующей переработкой предварительно подготовленных отходов [2]. Для модификации используют очищенный от загрязнений полимер различной продолжительности эксплуатации после стадии измельчения, отмывки и отжима. Увеличение концентрации перекиси, уменьшение температуры литья и длительности охлаждения создают предпосылки для увеличения в композиции сшитой части, что приводит к смещению температуры текучести и размягче

ния в область более высоких температур. Это связано с ростом содержания гelfракции и меньшей склонностью материала к деструкции в этих условиях переработки. Возможны два основных процесса получения вторичных полимерных материалов в этом случае – агломерация и грануляция, что обуславливает основные технологические приёмы и методы введения модификаторов. Технологические процессы переработки (рис. 2) включают в себя стадию предварительной подготовки, заключающейся в измельчении и очистке сырья.

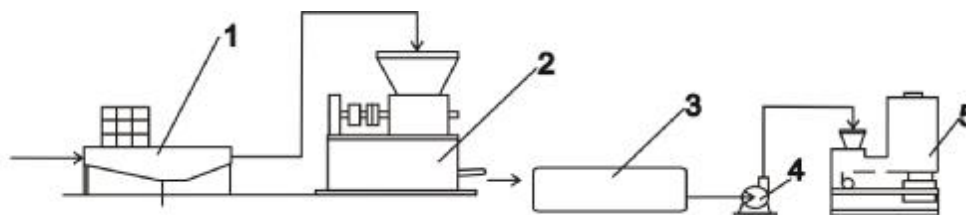


Рис. 2. Технологическая схема предварительной подготовки отходов: 1 – стол разборки сырья; 2 – установка для предварительного измельчения пленки; 3 – ванна; 4 – пневмотранспорт; 5 – установка для непрерывной отмывки

Затем материал поступает в роторный агломератор, который является емкостным аппаратом, на котором, одновременно осуществляются стадии дробления, отмывки, сушки и агломерации пленочных отходов. Стадия агломерации начинается тогда, когда температура материала достигает области вынужденной пластичности. В этом отношении большое значение имеет изменение показателя текучести расплава от нагрузки, лучше всего агломерируется полиэтилен.

Полный факторный эксперимент – это эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов. При планировании по схеме полного факторного эксперимента реализуются все возможные комбинации и факторы на всех выбранных для исследования уровнях. Сущность факторного эксперимента первого порядка заключается в одновременном варьировании всех факторов при его проведении по определенному плану с представлением математической модели (функции отклика) в виде линейного полинома и исследованием последнего методом математической статистики. При разработке процесса модификации свойств вторичного полиэтилена перекисью дикумила методом литья под давлением студентами был выбран и исследовался показатель «количество гelfракции», принятый в качестве выходного параметра  $Y$  (%). Факторами являются следующие показатели про

ведения процесса модификации:  $X_1$  – температура литья под давлением в последней зоне, °C;  $X_2$  – длительность цикла литья, с;  $X_3$  – количество перекиси дикумила, %. Для реализации опытов по избранному плану было проведено определение интервалов варьирования и кодирование. При введении перекиси дикумила снижается влияние температуры на прочность отлитых образцов в данном интервале варьирования факторов. Поэтому в дальнейшем в качестве переменной состояния было выбрано содержание гелефракции [4]. Проведенные эксперименты и выведенное уравнение регрессии для процесса модификации вторичного полиэтилена перекисью дикумила при литье под давлением указывает на его большую чувствительность к длительности цикла литья, температурному воздействию и в меньшей степени, для данных концентраций перекиси, количеству перекиси. Знаки при членах уравнения соответствуют установившимся представлениям о роли основных факторов при модификации, а абсолютные значения коэффициентов регрессии указывают на вклад каждого из членов в формирование величины переменной состояния  $Y$ . Для удобства практического использования полученной зависимости с помощью формулы кодирования путем обратного перехода к натуральным переменным получаем следующее уравнение:

$$Y = -122,0425 + 1,0627T + 2,7915\tau + 13,267 C - 0,017T \cdot \tau$$

Полученные данные обрабатываем на ЭВМ в среде статистического пакета STATISTICA 6.0 и EXCEL для их графического анализа (рис. 3).

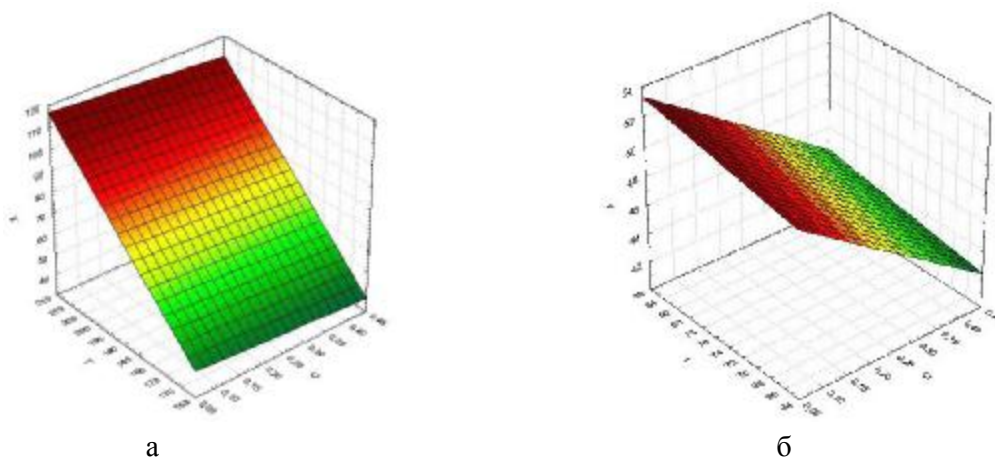


Рис. 3. Зависимость количества гелефракции ( $Y$ , %) ВПЭ от: а) температуры литья (°C) и концентрации перекиси дикумила (%); б) времени литья изделия (с) и концентрации перекиси дикумила (%)

Необходимо отметить одну из основных задач переработки полимерных

отходов – организация их раздельного сбора, что позволит извлечь из твёрдых бытовых отходов гораздо больше полимерных материалов, пригодных к повторной переработке.

Для достижения этих целей, а также предотвращение загрязнения окружающей среды миллионами тонн полимерных отходов необходимо решать и один из основных вопросов этой проблемы – выбор методов направленной модификации для улучшения качества вторичного полимерного сырья с помощью методов математического моделирования.

### **Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.**

Заключительная часть игрового проектирования состояла для всех участвующих подгрупп студентов двух факультетов в следующем: оформлении технической документации; сравнительный анализ свойств разработанной композиции с помощью методов математического моделирования; проведение публичной защиты курсовых проектов с приглашением специалистов; подведение итогов проектирования; выдача рекомендаций относительно победителей среди участников проекта и др.

Таким образом, из перечисленных методов использования полимерных отходов, наиболее перспективным с точки зрения ресурсо- и энергосбережения является направление получения и переработки вторичных полимеров. Это позволит расширить сырьевую базу для производства изделий и повысить эффективность направленной модификации на основе изучения свойств отходов различного происхождения, их состава и возможности организованного сбора.

**Список литературы:** 1. Осипова Т., Васильковский К. Пленки решили многие вопросы упаковки // Брутто. – 2005. – № 2. – С. 11 – 14. 2. Бухкало С.И. К вопросу энергосбережения процесса агломерирования полимерной упаковки // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2005. – № 2. – С. 29 – 33. 3. Штарке Л. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс. / Л. Штарке. – Л.: Химия. – 1987. – С.176. 4. Бухкало С.И. Конспект лекций по курсу «Математичне моделювання та застосування ЕОМ у біотехнології». – Х.: НТУ «ХПИ». – 2007. – С.97.

*Поступила в редколлегию 05.09.09*